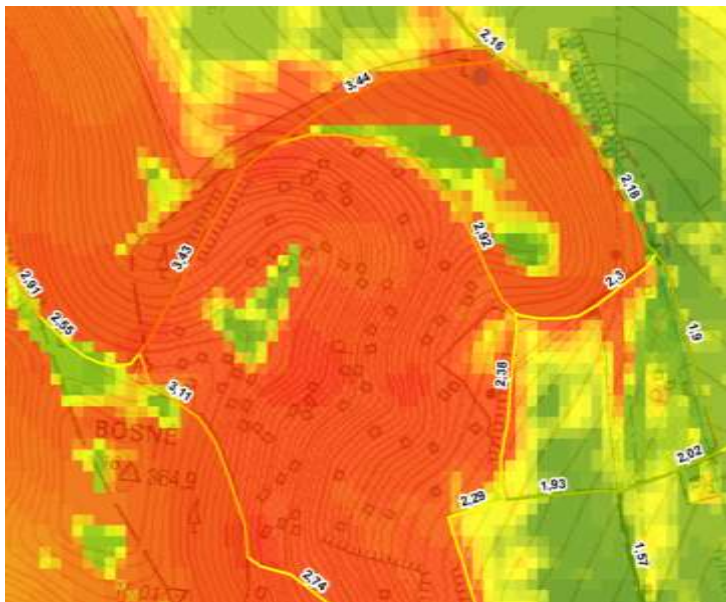


VYUŽITÍ FUZZY MODELŮ PŘI HODNOCENÍ OBTÍŽNOSTI CYKLOTRAS



ArcGIS ModelBuilder, Python

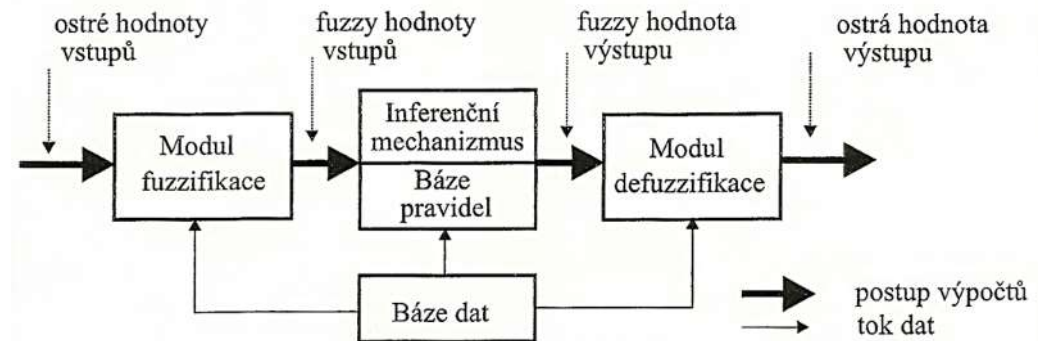
Pavel Kolisko

Cíle

- motivace – **zastaralost, neúplnost a nepřesnost** dat obtížnosti cyklotras na portálu cykloturistiky JMK (původní škála 1 až 3 získaná z terénu)
- **automatizovaná aktualizace** ohodnocení obtížnosti úseků sítě cyklotras na území JMK **jako zdroj** pro vizualizaci obtížnosti cyklotras a směřování
- zjednodušení, **zpřesnění, časová dostupnost, bez subjektivního vlivu**
- umožnění **rozšíření** původní klasifikace **na všechny** pro cyklisty přístupné **komunikace**
- **matematický** prostorový a **slovně definovaný fuzzy model**
- praktické **testování**, porovnání a ověřování přesnosti více modelů ve **srovnání** s daty získanými při praktickém průjezdu na testovaném území
- aplikace **rastrového i vektorového přístupu** – přesnost, náročnost na čas a datové úložiště

Metody fuzzy zpracování

- obtížnost úseku cyklotrasy závisí na **sklonu svahu** a **typu povrchu komunikace**
- **vágní vstupy** \Rightarrow **fuzzy množiny a fuzzy logika**
- **fuzzy množiny** – množiny s neostrou hranicí, zobec. klasických množin ostrých
 - míra příslušnosti v množině (interval 0 až 1) – vyjádření matematickými funkcemi
 - metody přibližného fuzzy usuzování s lingvistickými proměnnými
- **fuzzy systém (regulátor)**
 - **fuzzifikace**
 - **odvozování**
 - **defuzzifikace**
- deduktivní fuzzy odvozování
zevšeobecněný modus ponens
- **příklad ZMP:**
- A, B, A', B' fuzzy množiny; X, Y lingvistické proměnné
- podle shody předpokladu X je A v pravidle s aktuálním pozorováním X is A' dochází k modifikaci závěru Y je B v pravidle a tím k získání hodnoty B' proměnné Y
- ve skutečnosti se pracujeme s větším množstvím pravidel, vstupních a výstupních proměnných



pravidlo	X je A, potom Y je B
pozorování	<u>X je A'</u>
závěr	Y je B'

když je sklon svahu mírný, je obtížnost trasy malá
 sklon svahu je příkřejší
 obtížnost trasy je náročnější

Metody fuzzy zpracování

■ kompoziční pravidlo odvozování

- prakticky potřebujeme definovat pravidlo fuzzy relace

$$\frac{\begin{array}{l} (X, Y) \text{ je } R(A, B) \\ X \text{ je } A' \end{array}}{Y \text{ je } B', \quad B' = A' \circ_T R(A, B)} \quad \text{kompoziční pravidlo odvozování na t-normě } T$$

- různé **fuzzy regulátory** a **metody defuzzifikace** (7 metod – různé t-normy, vybrána **Mamdaniho metoda**, defuzz. Center of Sums – těžiště součtů)
- vhodnost metod je testována ověřenými a zařaditelnými úseky cyklotras
- **zpřesňování výsledků** - vliv funkce příslušnosti, zvyšování počtu slovních hodnot a báze pravidel, vliv určitého typu komunikací na jiné
- modelování bylo provedeno nad **rastry** i **vektory**
- srovnávána přesnost, časová a datová náročnost
- ArcGIS for Desktop 10.x, ModelBuilder a Python

Báze 8 slovních hodnot lingvistických proměnných a 6 pravidel

typ povrchu komunikace (vzdál., vektor StreetNet)

K_1 – zpevněné komunikace (asfalt, dlažba, beton),
příp. poškozené zpevněné

K_2 – udržované komunikace (nezpev. povrch, šterk)

K_3 – ostatní nezpevněné komunikace (lesní, polní)

sklon svahu (stupně, rastr DMT, 10 m)

S_1 – svah mírný

S_2 – svah příkrý

obtížnost cyklotrasy (hodnoty 1 – 6)

D_1 – cyklotrasy s malou obtížností (vhodné pro
rodiny s dětmi)

D_2 – cyklotrasy se střední obtížností (vhodné pro
rekreační sportovce)

D_3 – cyklotrasy s velkou obtížností (vhodné pro
aktivní sportovce)

Pravidla

P_1 : jestliže X_1 je K_1 a X_2 je S_1 , potom Y je D_1

P_2 : jestliže X_1 je K_2 a X_2 je S_1 , potom Y je D_1

P_3 : jestliže X_1 je K_3 a X_2 je S_1 , potom Y je D_2

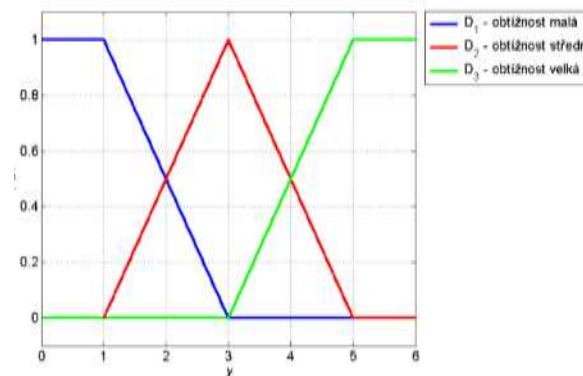
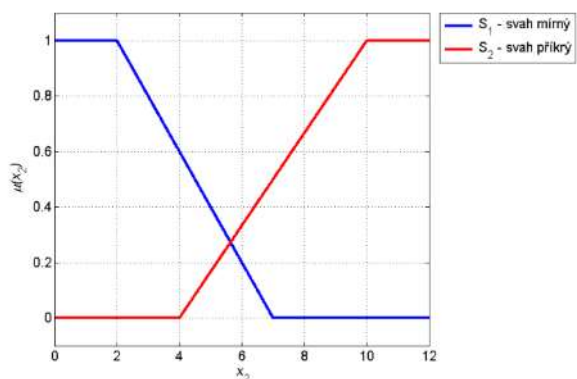
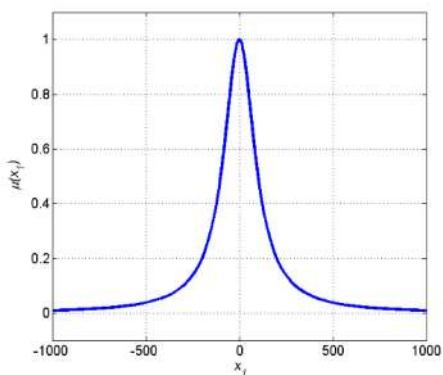
P_4 : jestliže X_1 je K_1 a X_2 je S_2 , potom Y je D_2

P_5 : jestliže X_1 je K_2 a X_2 je S_2 , potom Y je D_3

P_6 : jestliže X_1 je K_3 a X_2 je S_2 , potom Y je D_3

Pozorování X_1 je K' a X_2 je S'

Závěr Y je D'



Obtížnost cyklotrasy – 7 použitých metod

Mamdaniho metoda (COS-TM-TM, COM-TM-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_M(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \min(\min(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y))$$

Larsenova metoda (COS-TP-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_P(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k (\min(w_{1j}, w_{2j}) \cdot \mu_{D_j}(y))$$

Součinnová t-norma se součinnovou t-normou (COS-TP-TP)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_P(T_P(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k (w_{1j} \cdot w_{2j} \cdot \mu_{D_j}(y))$$

Łukasiewiczova t-norma s minimovou t-normou (COS-TL-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, \min(w_{1j}, w_{2j}) + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Łukasiewiczova t-norma se součinnovou t-normou (COS-TL-TP)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_P(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, w_{1j} \cdot w_{2j} + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Łukasiewiczova t-norma s Łukasiewiczovou t-normou (COS-TL-TL)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_L(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, \max(0, w_{1j} + w_{2j} - 1) + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Mamdaniho metoda a minimové t-normy

- ilustrativní schéma univerzálního regulátoru se 2 pravidly, 2 vstupními a 1 výstupní proměnnou

- **použití minimových t-norem**

$$T = T^* = T_M$$

- průniky a sjednocení

$$w_1 = T(w_{11}, w_{21})$$

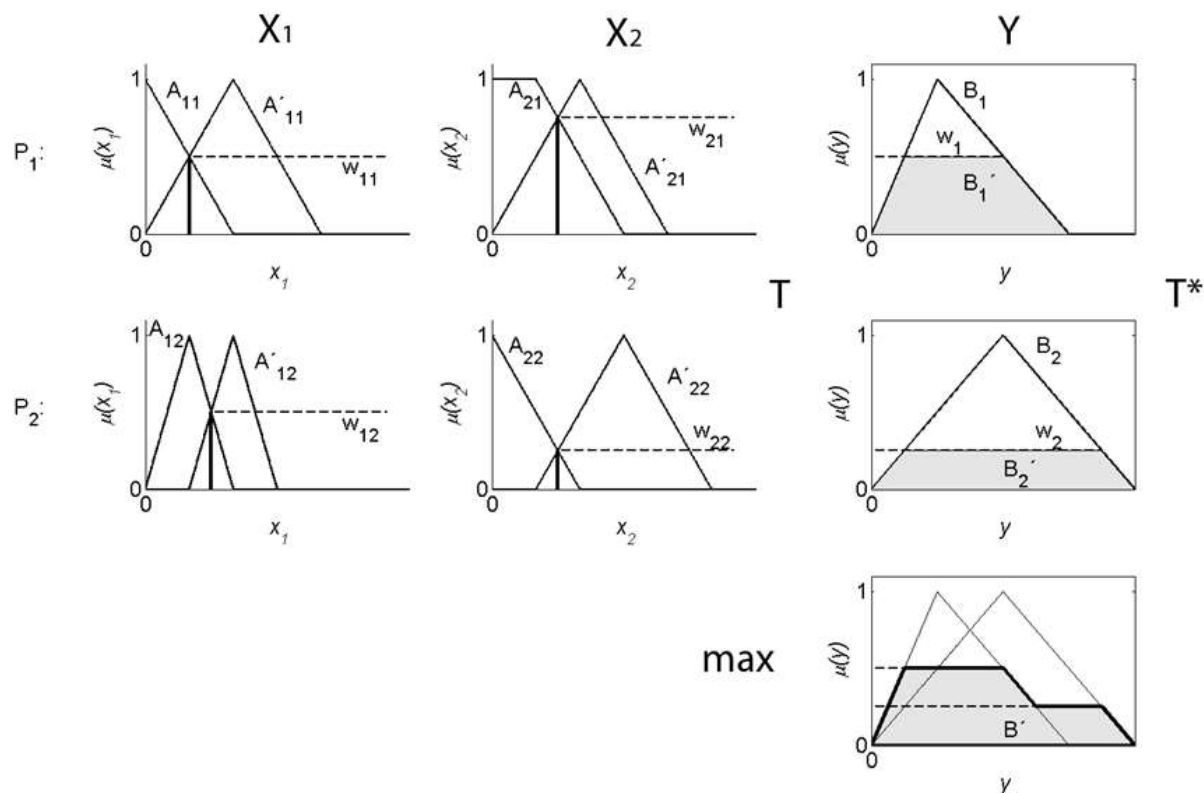
$$w_2 = T(w_{12}, w_{22})$$

$$\mu_{B_1'}(y) = T^*(w_1, \mu_{B_1}(y))$$

$$\mu_{B_2'}(y) = T^*(w_2, \mu_{B_2}(y))$$

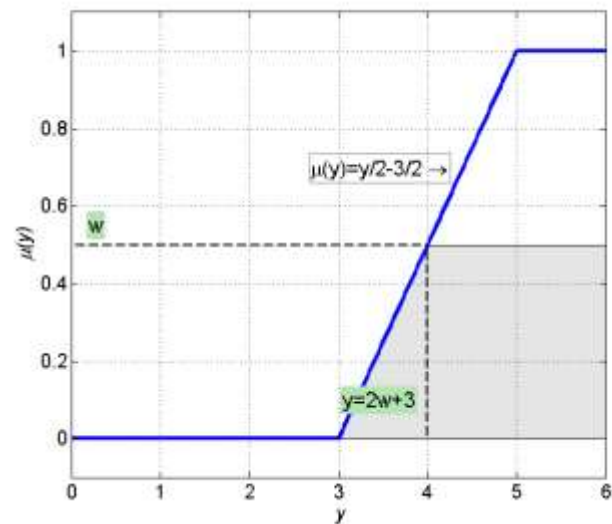
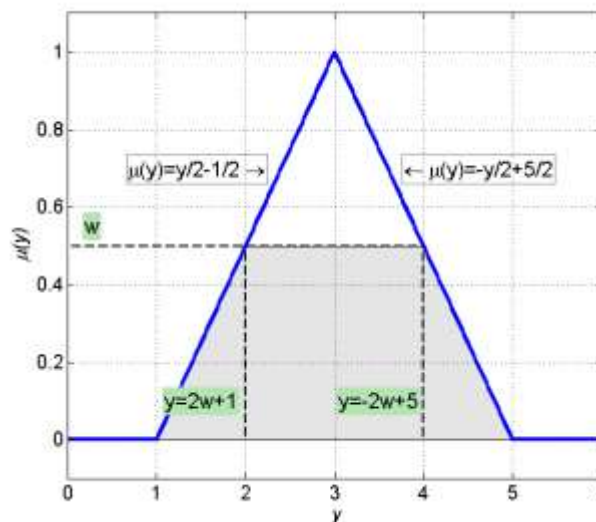
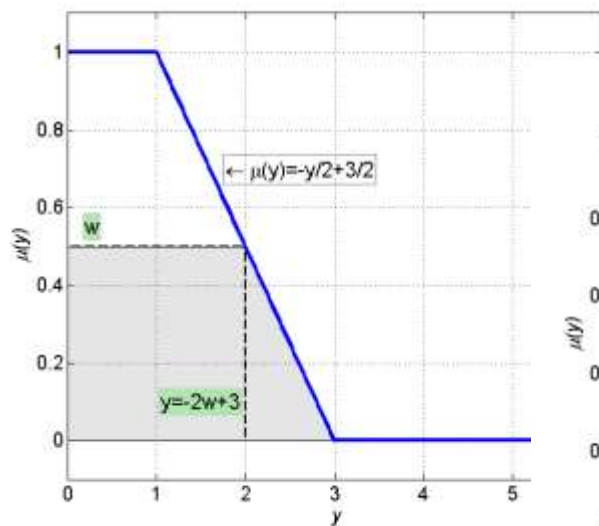
$$\mu_{B'}(y) = \max(\mu_{B_1'}(y), \mu_{B_2'}(y))$$

$$\mu_{B'}(y) = \max_{j=1}^2 T^*(T(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{B_j}(y))$$

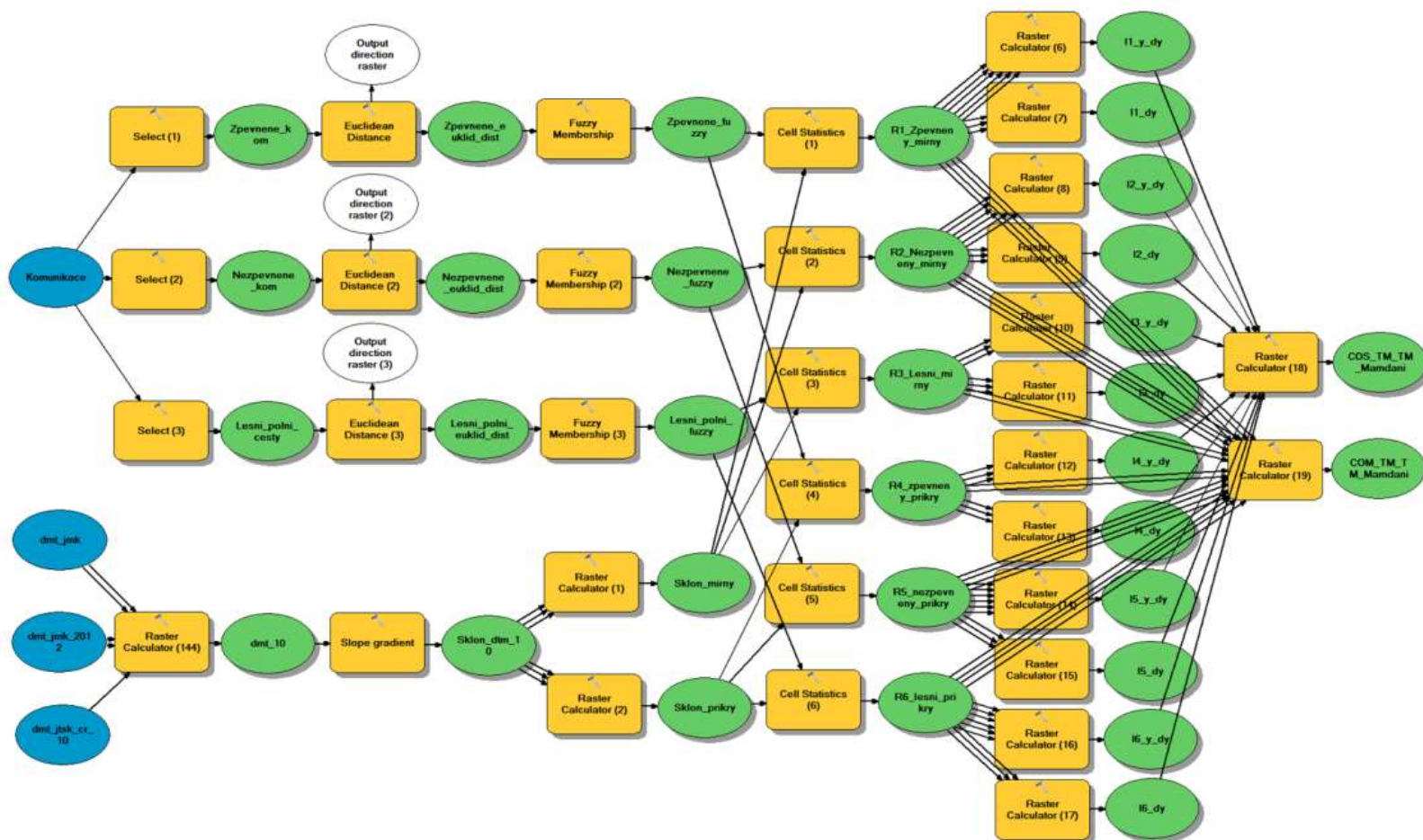


Mamdaniho metoda – defuzzifikace těžiště součtů

$$y_{D_j'}^{CoS} = \frac{\sum_{1 \leq j \leq 6} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) y dy \right)}{\sum_{1 \leq j \leq 6} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) dy \right)} = \frac{\int_Y \mu_{D_1'}(y) y dy + \int_Y \mu_{D_2'}(y) y dy + \int_Y \mu_{D_3'}(y) y dy + \int_Y \mu_{D_4'}(y) y dy + \int_Y \mu_{D_5'}(y) y dy + \int_Y \mu_{D_6'}(y) y dy}{\int_Y \mu_{D_1'}(y) dy + \int_Y \mu_{D_2'}(y) dy + \int_Y \mu_{D_3'}(y) dy + \int_Y \mu_{D_4'}(y) dy + \int_Y \mu_{D_5'}(y) dy + \int_Y \mu_{D_6'}(y) dy}$$



Mamdaniho metoda v ArcGIS ModelBuilderu



APLIKACE FUZZY METOD PŘI ŘEŠENÍ OBTÍŽNOSTI CYKLOTRASY

Mamdaniho metoda (minimové t-normy,
defuzzifikace "Center of Sums")



Původní liniové ohodnocení
obtížnosti cyklotras

Hodnoty stupně obtížnosti

- malá
- střední
- velká



Fuzzy bodové ohodnocení
obtížnosti komunikací

Hodnoty stupně obtížnosti

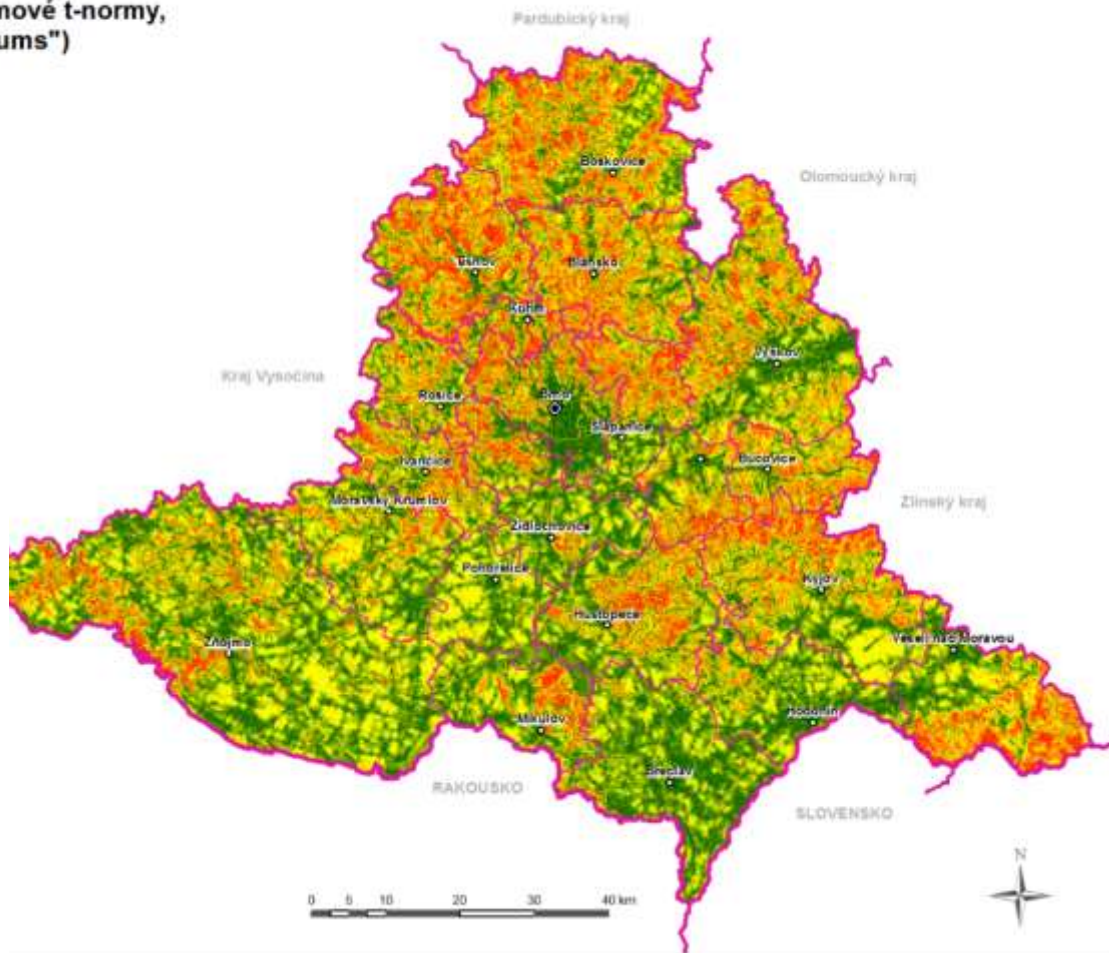
- 1,00 - 2,00 (malá)
- 2,01 - 4,00 (střední)
- 4,01 - 5,00 (velká)



Fuzzy bodové ohodnocení
obtížnosti komunikací

Hodnoty stupně obtížnosti

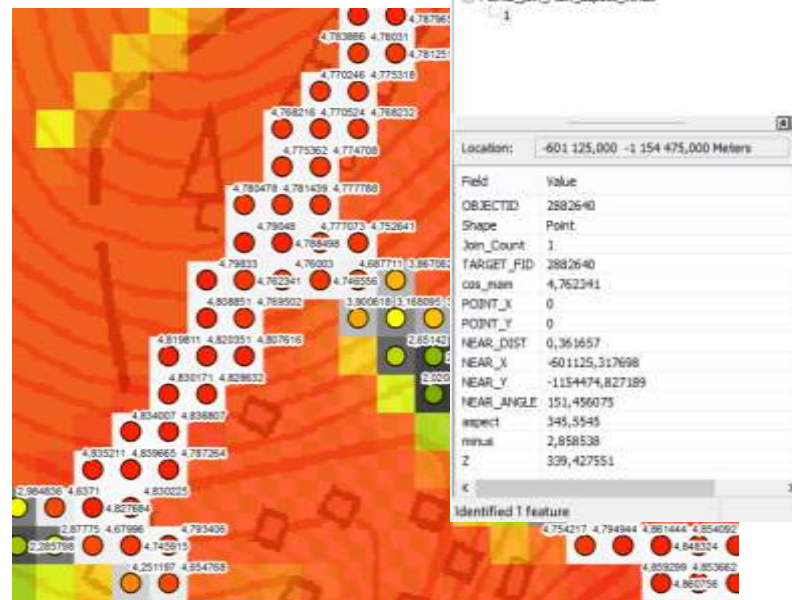
- 1,00 - 1,50
- 1,51 - 2,00
- 2,01 - 2,50
- 2,51 - 3,00
- 3,01 - 3,50
- 3,51 - 4,00
- 4,01 - 4,50
- 4,51 - 5,00



Hledání ohodnocení úseku komunikace

■ ModelBuilder

- převod rastru na body s hodnotou obtížnosti v okolí komunikace
- přidání orientace svahu a vzdálenosti k nejbližší linii cesty
- výpočet rozdílu mezi Mamdaniho rastrem a Mamdaniho „nulovým“ rastrem nezávislém na vlivu nadmořské výšky (znamená navýšení obtížnosti ve srovnání s plochým terénem)



Hledání ohodnocení úseku komunikace

■ Python

- iterace – body v okolí linie jsou procházeny podle ROAD_ID
- **aritmetický průměr** – hrubý výsledek obtížnosti (BTD_MEAN)
- **vážený fuzzy aritmetický průměr** – přesnější výsledek (BTD_FUZZY_MEAN)
 - ❖ v závislosti na míře příslušnosti bodů ve fuzzy množině (ve vzdálenosti 10 m je příslušnost rovna 0, na linii je rovna 1)
- **největší problém** – místa se stejným sklonem a kvalitou cesty mají ve směru vrstevnic příliš vysokou obtížnost
- **vliv azimutu cesty vzhledem ke sklonu svahu**
- řešení – **nejpřesnější výsledek (BTD_FCL_MEAN)**
 - ❖ pro úseky ve směru vrstevnice – použít obtížnost „nulového“ plochého Mamdaniho rastru
 - ❖ pro úseky ve směru spádnice – zachovat obtížnost Mamdaniho rastru
 - ❖ jinak obecně – obtížnost "nulového" rastru zvýšíme v závislosti na úhlu mezi směrem sklonu svahu a azimutem cesty
- redukce chyb pro mosty, tunely a krátké úseky



Field	Value
ID	124321
kod_tr	4
x1	-603033,0409
y1	-1154337,528
x2	-600810,6875
y2	-1154493,75
x1	314,093842
x2	289,039307
nazev1	Bmo
nazev2	Bmo
POVRCH	2
OBTIZNOST	2
NEBEZPECI	0
joined	0
TURIST	
BTD_MEAN	3,94
BTD_FUZZY_MEAN	3,89
BTD_FCL_MEAN	2,52
Shape_Length	307,300095

Identified 7 features

Postupy vedoucí ke zpřesňování výsledků

■ vliv funkcí příslušnosti

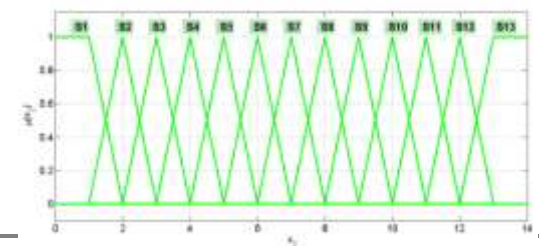
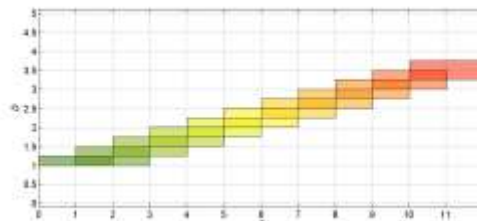
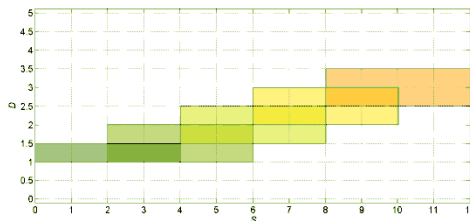
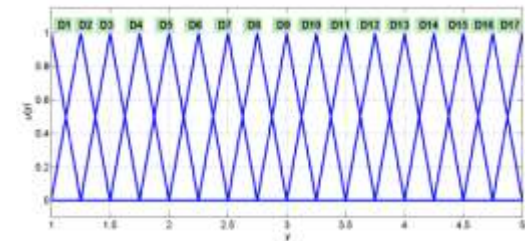
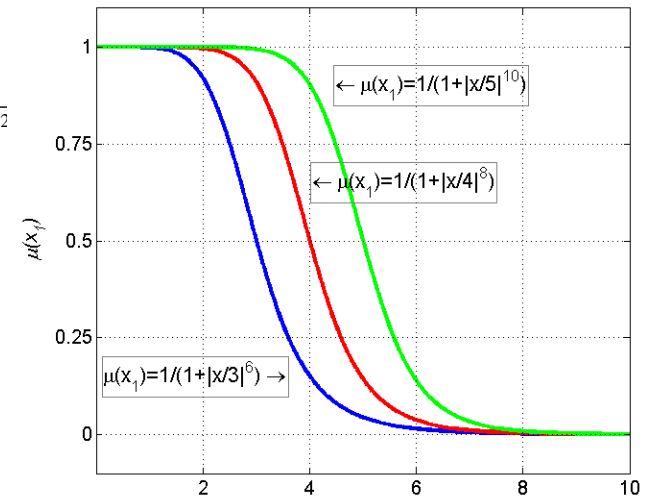
- komunikace – funkční kategorizace
- sklon svahu, obtížnost cyklotrasy
volit sousední funkce příslušnosti
symetrické s hladinou průseku 0,5

■ zvýšení počtu slovních hodnot a pravidel

- zobecnění výpočtu integrálů (15, 39 prav.)
- závislost nosičů fuzzy množin D a S

$$y_{D_j'}^{CoS} = \frac{\sum_{1 \leq j \leq k} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) y dy \right)}{\sum_{1 \leq j \leq k} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) dy \right)} = \frac{S_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{k-2} + Q_{k-1} + T_k}{U_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{k-2} + R_{k-1} + V_k}$$

$$\mu(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1}{k} \right|^2}$$



Postupy vedoucí ke zpřesňování výsledků

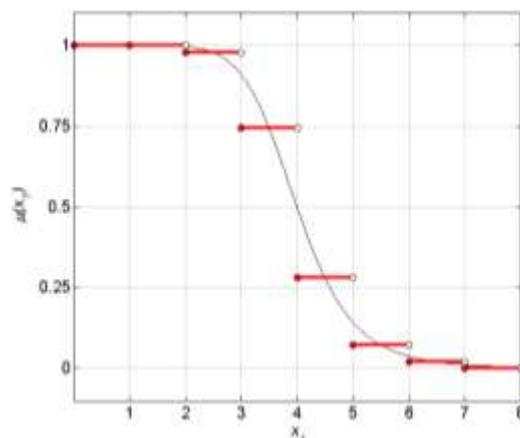
■ rozdělení modelu podle typu komunikace

- blízkost komunikace – negativní vliv
- 3 dílčí modely – čas, data

■ použitelnost vektorové analýzy

- stupně příslušnosti, řízení přesnosti
- polygony – **toolbox**, **sloučením dlaždic**
- srovnání – **raster**, **vlastní hodnocení**

	K ₁		K ₂		K ₃	
S ₁	1	P ₁	1,5	P ₁₄	2	P ₂₇
	D ₁		D ₃		D ₅	
S ₂	1,25	P ₂	1,75	P ₁₅	2,25	P ₂₈
	D ₂		D ₄		D ₆	
S ₃	1,5	P ₃	2	P ₁₆	2,5	P ₂₉
			D ₅		D ₇	
		P ₄	2,25	P ₁₇	2,75	P ₃₀
			D ₆		D ₈	
		P ₅	2,5	P ₁₈	3	P ₃₁
			D ₇		D ₉	
		P ₆	2,75	P ₁₉	3,25	P ₃₂
			D ₈		D ₁₀	
		P ₇	3	P ₂₀	3,5	P ₃₃
			D ₉		D ₁₁	
		P ₈	3,25	P ₂₁	3,75	P ₃₄
			D ₁₀		D ₁₂	
		P ₉	3,5	P ₂₂	4	P ₃₅
			D ₁₁		D ₁₃	
		P ₁₀	3,75	P ₂₃	4,25	P ₃₆
			D ₁₂		D ₁₄	
		P ₁₁	4	P ₂₄	4,5	P ₃₇
			D ₁₃		D ₁₅	
		P ₁₂	4,25	P ₂₅	4,75	P ₃₈
			D ₁₄		D ₁₆	
		P ₁₃	4,5	P ₂₆	5	P ₃₉
			D ₁₅		D ₁₇	



$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{d(2n-1)}{20} & \text{pro } x \in (L + (n-1)d, L + nd), \quad n \in \{1, 2, \dots, b\} \\ 0 & \text{pro } x \in (L + (n-1)d, \infty), \quad n = b + 1 \end{cases}$$

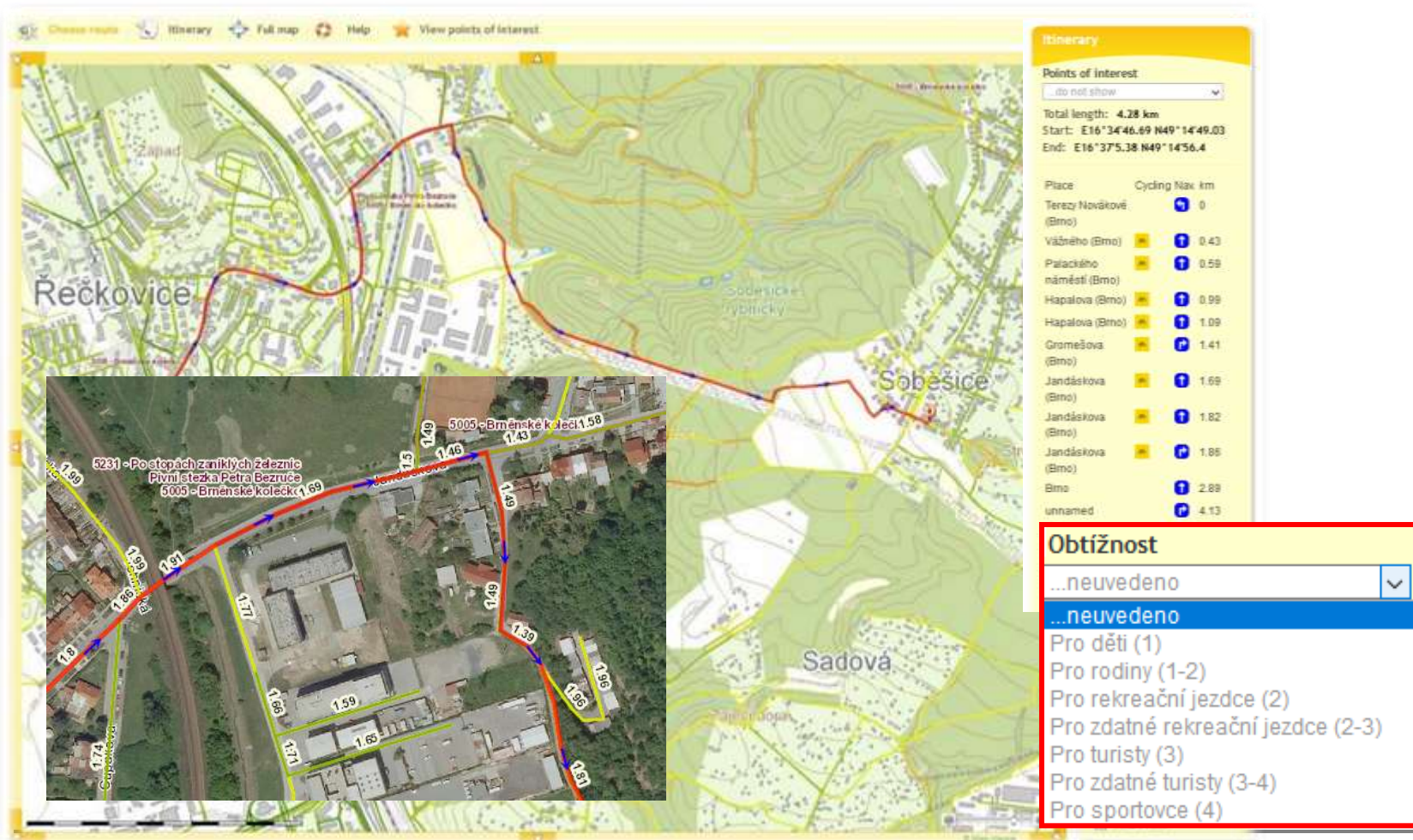
Vyhodnocení přesnosti, porovnání rastrového a vektorového modelu

- Mamdaniho metoda, defuzzifikace COS
- **rastrová bezešvá mapa obtížnosti**
- **zkvalitnění směřování na cykloportálu**
<http://www.cyklo-jizni-morava.cz/>
- vektorový model
 - nastavení přesnosti, čas. náročnost, malá data
 - mnoho polygonů, zpracování po částech
 - přesnější pro krátké úseky
 - přizpůsobivější, náročnější tvorba modelu
 - lze uvažovat obsah polygonů

	Vektor	Rastr
čas - model	175 h	25 h
čas - Python	42 h	8 h
velikost - model	33 GB	203 GB
velikost - Python	4 GB	8 GB

- rastrový model
 - kratší čas, objemná data
 - jen středový bod z rastrové dlaždice
 - efektivní zpracování, četné zdroje, body, linie i polygony lze jednoduše vyjádřit rastry, dostatek nástrojů map algebry
- celková přesnost obou modelů je srovnatelná
- vzhledem k časovým nárokům byl zvolen model **rastrový**

Aplikace na cykloportálu – www.cyklo-jizni-morava.cz (VARS Brno a.s.)



Problémy a nápady

- **časová náročnost** při ladění modelů (chyby, systém)
- pouze **tři kategorie pro povrch komunikace** (39 pravidel, 13 kategorií pro sklon, 17 kategorií pro obtížnost) – pro cyklistu má často větší význam konkrétní povrch – šotolina, kameny, bahnitý terén, lesní cesty než změna svažitosti úseku
- **hodnocení dlouhých komunikací** není někdy reprezentativní (střídání rovných a příkrých úseků), návrh rozdělení
- **komunikace na úbočí prudkého svahu** (řeší funkční kategorizace komunikace, vhodný podrobnější a aktuálnější DMR rastr)
- občasné nedostatky ve **zdrojových datech**
- jako zajímavé se jeví **směrová simulace jízdy po komunikaci** – průběžné ukládání informace o sklonu nebo nadmořské výšce (složitější iterace)

Děkuji za pozornost

